

Fußgängererkennbarkeit mit Halogen, Xenon und LED: „der Streulichteffekt“ Teil 1

Von Annika Kortmann und Tim Hoger*

Die Erkennbarkeit eines Fußgängers ist für einen Pkw-Fahrer nicht nur mit der Lichtstärke und der „Reichweite“ seines Scheinwerfers verknüpft, von Bedeutung ist auch das „Streulicht“ des Scheinwerfers. Lassen sich Fußgänger mit höherpreisigen Xenon- und LED-Scheinwerfern früher erkennen, als dies mit kostengünstigen Halogenscheinwerfern der Fall ist? Ist es möglich, durch den Austausch der Leuchtmittel in Halogenscheinwerfern eine wesentliche Verbesserung zu erreichen? Dazu wurden lichttechnische Untersuchungen mit einem Fahrzeugtyp (Audi A4) in der Halogen-, Xenon- und LED-Ausstattung durchgeführt und beim Halogenscheinwerfer verschiedene Leuchtmittel verwendet. Der vorliegende erste Teil beschäftigt sich mit der Auswirkung der unterschiedlichen Leuchtmittel in den Halogenscheinwerfern eines Audi A4. Die gewonnenen Ergebnisse werden diskutiert und den Ergebnissen aus der Untersuchung eines 1er-BMW gegenübergestellt. Ob Xenon- oder LED-Systeme bei der Fußgängererkennbarkeit einem Halogenscheinwerfer überlegen sind, wird im zweiten Teil dieses Beitrags untersucht.

1 Einleitung

Die häufigsten Scheinwerfertypen für Abblendlicht an Pkw arbeiten heutzutage mit Halogenlicht. Gerade neuere, hochpreisige Pkw werden zunehmend mit Xenon- oder LED-Licht ausgerüstet. Es wird unter anderem mit einer besseren Grundausleuchtung oder Lichtqualität geworben, was mit mehr Sicherheit im Straßenverkehr gleichgesetzt wird¹. Der ADAC testete 2016 die LED-Lichtanlagen von sechs SUVs in den Kategorien Grundausleuchtung, Lichtqualität, Blendwirkung und Licht-Assistenzsysteme [1]. Die Untersuchungen erfolgten in einem Lichtkanal, auf einem Testgelände und bei einer Testfahrt. Beurteilt wurde zum Beispiel die Homogenität der Lichtverteilung, das heißt ein Auftreten von auffällig hellen Flecken und störenden Lichtreflexen. Das Fazit: unter anderem durch eine gute bis sehr gute „Ausleuchtung“ bietet das LED-Lichtsystem besonders im Vergleich zum Halogenlicht mehr Sicherheit.

Typische Dunkelheitsunfälle wurden mit den neuen Lichtsystemen bisher kaum analysiert. In den letzten fünf

Jahren starben pro Jahr im Schnitt rund 550 Fußgänger bei Verkehrsunfällen in Deutschland [2], davon 23 % bei Nacht [3]. Die lichttechnische Beurteilung der Unfallsituation ist einerseits für die Unfallrekonstruktion und damit für Haftungsfragen von Bedeutung. Andererseits könnten aus einem Fußgängerunfall mit halogenscheinwerferbestücktem Pkw durch eine Alternativbetrachtung mit Xenon- oder LED-bestücktem Pkw Informationen zur Weiterentwicklung von Scheinwerfern gewonnen werden.

Wer „nur“ über ein Fahrzeug mit Halogenscheinwerfern verfügt und dieses aufrüsten möchte, der kann sich verschiedener Internetanbieter bedienen. Neben besonders hellen Glühlampen mit Straßenzulassung werden auch LED-Leuchten mit H7-Fassung angeboten. Der Hersteller Osram wirbt zum Beispiel mit seinen Night Breaker Unlimited, die optimales Licht für mehr Zeit zum Reagieren bieten sollen. In einem Glühlampentest durch den ADAC [4] wird die Lichtqualität und -intensität, die Blendung und die Lebensdauer beurteilt. Es fehlt jedoch eine Beurteilung, ob Objekte

bei Benutzung der einzelnen Lampentypen besser erkannt werden können und so dem Autofahrer tatsächlich mehr Zeit zur Reaktion bleibt.

In der Unfallrekonstruktion ist bei einem Gerichtsverfahren entscheidend, ob eine Betrachtung zu Gunsten oder zu Ungunsten des Pkw-Fahrers vorliegt, wenn von einer Standardbeleuchtung ausgegangen wird. War ein Fußgänger, der die Fahrbahn des Unfall-Pkw kreuzt, eventuell durch den Austausch der Standardglühlampe gegen eine „hellere Lampe“ für den Fahrer zu einem früheren Zeitpunkt erkennbar? Die Verwendung eines Vergleichs-Pkw mit Standardbeleuchtung bei einer lichttechnischen Untersuchung würde dann zu falschen Ergebnissen führen.

2 Versuchsfahrzeuge Audi A4

Um den Einfluss verschiedener Leuchtmittel bei der Fußgängererkennbarkeit messtechnisch erfassen zu können, wurden unter anderem drei Versuchsfahrzeuge des Typs Audi A4 mit unterschiedlichen Lichtquellen im Rahmen der lichttechnischen Untersuchung (LTU) verwendet, **BILD 1**. Bei zwei Versuchsfahrzeugen handelt es sich um zwei baugleiche Audi A4 B8 8K, mit H7- beziehungsweise Xenon-Scheinwerfern ausgestattet. Das dritte Fahrzeug ist das Nachfolgermodell Audi A4 B9 mit LED-Scheinwerfern². Die unterschiedlichen Scheinwerferausführungen zeigt **BILD 2**. Die Auswirkungen auf die Fußgängererkennbarkeit durch den Austausch der

¹ Zitat ADAC (Beitrag vom 18.10.2016)

² Die Untersuchungen wurden durch das Audi Zentrum Münster durch die Leihgabe des Audi A4 B8 8K (Xenon) sowie B9 (LED) unterstützt

Standardglühlampe gegen eine „hellere Lampe“ im Halogenscheinwerfer wurden zusätzlich bei einem 1er-BMW (F20) dokumentiert, um verschiedene Scheinwerferkonzepte vergleichen zu können. Das Fahrzeugmodell und die Scheinwerferausführung sind in **BILD 3** zu sehen.

3 Leuchtmittel für den H7-Scheinwerfer

Im vorliegenden ersten Teil werden die Auswirkungen verschiedener Leuchtmittel mit H7-Fassungen lichttechnisch untersucht, also die Fußgängererkenn-

barkeitsentfernung bestimmt. **BILD 4** zeigt eine Zusammenstellung der einzelnen Leuchtmittel. Insgesamt wurden sechs verschiedene Leuchtmittel mit H7-Fassung für die Versuchsdurchführung beschafft:

- (1) Osram original 64210-01B
- (2) Osram Night Breaker Unlimited

- (3) Philips WhiteVision Xenon-Effekt
- (4) Carchet LED
- (5) Neverland LED
- (6) Car Rover LED.

Bei (1) handelt es sich um die Standardglühlampe, die serienmäßig im Audi-Scheinwerfer eingebaut ist. (2) und (3) propagieren eine erhöhte Lichtausbeute und mehr Sicherheit im Straßenverkehr. Bei (4), (5) und (6) handelt es sich um LED-Leuchtmittel. (4) besteht aus insgesamt 120 LEDs. Bei (5) und (6) befindet sich die Leuchtquelle in etwa auf Höhe der Glühwendel einer herkömmlichen Glühlampe und somit im Bereich des „Brennpunktes“ des Scheinwerferreflektors. Die Leuchtmittel (1) bis (3) sind ECE-R37-zertifiziert und damit für den deutschen Straßenverkehr zugelassen. Die LED-Lampen (4) bis (6) sind nicht zugelassen.

Schon vor Versuchsbeginn konnte die LED-Leuchte (4) als untauglich für den Einsatz in einem Halogenscheinwerfer eingestuft werden, da der Scheinwerfer für eine glühwendelähnliche Lichtquelle optimiert ist. Zudem ließ sich die LED-Lampe (4) aufgrund der breiten Bauform nicht in den Audi-Scheinwerfer einsetzen, weshalb auf eine weitere Analyse verzichtet werden musste. Auch die LED-Leuchte (5) ließ sich nicht im Audi-Scheinwerfer be-



BILD 1: Versuchsfahrzeuge Modell Audi A4 mit Halogen-, Xenon- und LED-Scheinwerfern
FIGURE 1: Audi A4 test vehicle with halogen, xenon and LED headlights



BILD 3: 1er BMW mit Halogen-Scheinwerfer
FIGURE 3: BMW with halogen headlights



BILD 2: Scheinwerferausführungen mit Halogen-, Xenon- und LED-Licht
FIGURE 2: Headlight designs using halogen, xenon and LED light



BILD 4: Leuchtmitteltest mit (1) Osram original 64210-01B, (2) Osram Night Breaker Unlimited, (3) Philips WhiteVision Xenon-Effekt, (4) Carchet LED, (5) Neverland LED, (6) Car Rover LED
FIGURE 4: Bulb test using (1) Osram original 64210-01B, (2) Osram Night Breaker Unlimited, (3) Philips WhiteVision xenon effect, (4) Carchet LED, (5) Neverland LED, (6) Car Rover LED

treiben, da sich der Sockel mit aktiver Kühlung nicht in das Scheinwerfergehäuse einbauen ließ. Für die lichttechnische Untersuchung in Bezug auf die Fußgängererkennbarkeit wurden die H7-Lampen (1) bis (3) mit Glühwendel und (6) mit LED verwendet.

4 Aufbau und Funktionsweise eines Halogenscheinwerfers

Halogenscheinwerfer lassen sich prinzipiell in zwei Typen unterteilen: Reflexions- und Projektionsscheinwerfer. Reflexionscheinwerfer werden mit reinen Paraboloid- oder zusätzlichen Freiflächenreflektoren (FF) betrieben, bei einem Projektionsscheinwerfer wird das Licht zusätzlich durch einen Ellipsoid gebrochen. Da beide Versuchsfahrzeuge (Audi und BMW) mit Reflexionscheinwerfern ausgestattet sind, ist die vorliegende Untersuchung auf Reflexions-

scheinwerfer beschränkt. Die Ergebnisse lassen sich jedoch auch auf Projektionsscheinwerfer übertragen.

Der Aufbau und die Funktionsweise eines Reflexionscheinwerfers zeigt **BILD 5** in der Seitenansicht und Draufsicht. Beim Paraboloid-Scheinwerfer (1, 2) hat die Reflektorfläche die Form eines Paraboloids. Die Glühwendel der Lichtquelle befindet sich annähernd im Brennpunkt des Reflektors, sodass das nach oben abgestrahlte Licht parallel in Richtung Fahrweg reflektiert wird (1). Die gewünschte Lichtverteilung wird durch zylindrische und prismatische Elemente in der Streuscheibe realisiert (2). Bei den Scheinwerfern der Versuchsfahrzeuge Audi und BMW handelt es sich um FF-Scheinwerfer. Die Reflektorfläche besteht aus einzelnen Segmenten, die unabhängig voneinander geformt sein können (3, 4). Die Reflektorfläche unterhalb des Leuchtmittels kann daher ebenfalls

genutzt werden. Der Anteil des gestreuten Lichts und die Lichtverteilung zur Verringerung der Blendung³ wird über die Form der einzelnen Segmente geregelt. Die Abschlusscheibe des Scheinwerfers ist daher klar und benötigt keine zusätzlichen optischen Elemente. Alle Scheinwerfertypen erzeugen Streulicht, das den Scheinwerfer „diffus“ verlässt und zur Erkennbarkeit von Fußgängern beiträgt, aber auch den Gegenverkehr blenden kann.

5 Grundlagen der lichttechnischen Untersuchung

Zur Beurteilung der Erkennbarkeit eines Fußgängers wird die Leuchtdichtedifferenz des Fußgängers relativ zum Hintergrund in $[cd/m^2]$ gemessen. Die Leuchtdichte ist die Leuchtintensität, die pro Fläche auf das Auge einwirkt. Bei der Auswertung der Sichtbarkeit wird die gemessene Leuchtdichtedifferenz der erforderlichen Schwellenleuchtdichtedifferenz von Berek [6] und Adrian et al. [7] gegenübergestellt. Bei der Schwellenleuchtdichte handelt es sich um die Leuchtdichtedifferenz eines Objekts zu seinem Hintergrund, bei der das Objekt unter Laborbedingungen von einem konzentrierten Beobachter gerade noch erkannt werden kann. In Abhängigkeit der Objektgröße (Sehwinkel) und der Umgebungsleuchtdichte ergeben sich die in dem **BILD 6** dargestellten Kurven (Bereksche Kurven).

In der Realität muss der Seheindruck von sich bewegenden Objekten in kürzester Zeit verarbeitet werden, gleichzeitig wird der Fahrer durch Leuchtquellen in der Umgebung abgelenkt. Durch sogenannte Praxisfaktoren wird dies berücksichtigt. Gemäß Schmedding et al. [8] kann die vor Ort gemessene Leuchtdichtedifferenzen gegen die Fußgängerentfernung zum Pkw in einem „Soll-Ist“- (SI)-Diagramm dargestellt werden.

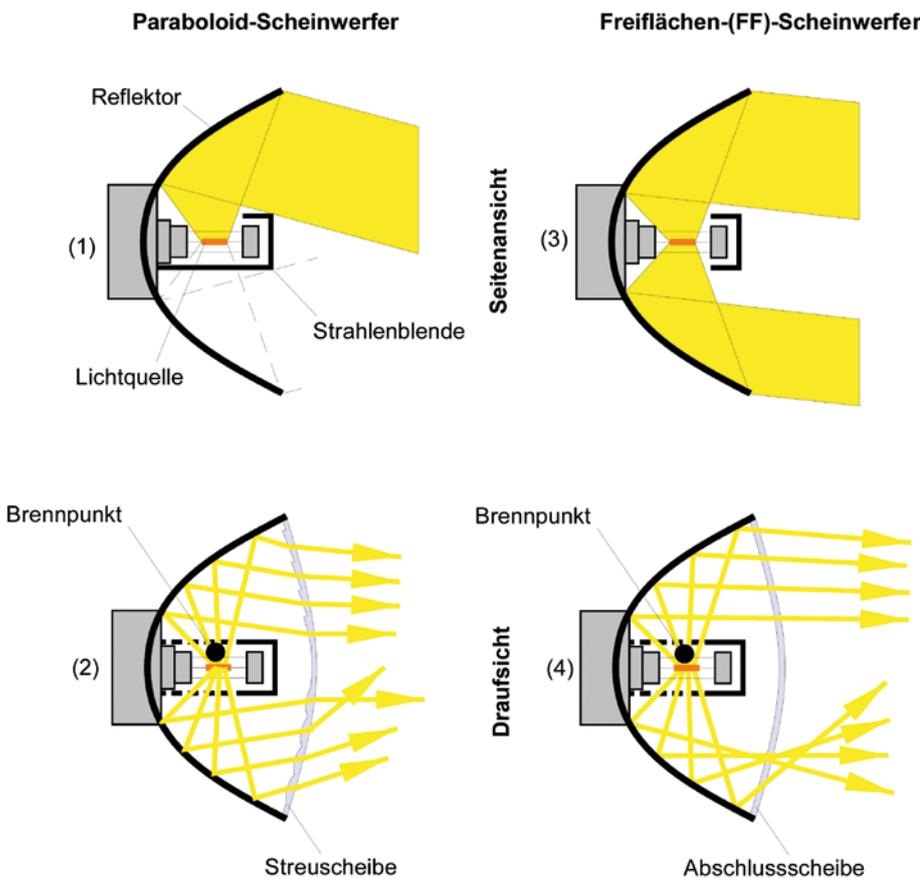


BILD 5: Aufbau und Funktionsweise eines Paraboloid- (1, 2) und FF-Scheinwerfers (3, 4) [5]
FIGURE 5: Structure and functioning of a paraboloid headlight (1, 2) and free-form reflector headlight (3, 4) [5]

³ StVZO §50: Die Blendung gilt als behoben, wenn die Beleuchtungsstärke in einer Entfernung von 25 m vor jedem einzelnen Scheinwerfer auf einer Ebene senkrecht zur Fahrbahn in Höhe der Scheinwerfermitte und darüber nicht mehr als 1 lx beträgt

Dem exemplarisch in Bild 6 (rechts dargestellten SI-Diagramm ist zu entnehmen, dass der Fußgänger erstmalig aus einer Entfernung von knapp 55 m erkennbar ist. In dieser Entfernung ist die gemessene Leuchtdichtedifferenz (rote Kreise) größer, als die mit dem Praxisfaktor 3 bewertete, zum Erkennen erforderliche, Leuchtdichtedifferenz (rote Linie). Eine genauere Bestimmung der Erkennbarkeitsentfernung ist aufgrund der gewählten Schrittweite von 13,9 m zwischen den Fußgängerpositionen messtechnisch nicht möglich, sondern kann nur in Verbindung mit einem kontinuierlichen Verlauf interpoliert werden.

Die Leuchtdichten an der Unfallstelle beziehungsweise Sichteindrücke lassen sich mithilfe eines Leuchtdichtemessgeräts oder einer Standardspiegelreflexkamera aufnehmen. Die Vermessung mit

dem Leuchtdichtemessgerät kann nur punktweise erfolgen, sodass die Durchführung einer LTU zeitaufwendig ist.

Bei einer Dokumentation des Seheindrucks mittels einer Digitalkamera besteht hingegen das Problem der Über- oder Unterbelichtung der aufgenommenen Lichtbilder, sodass eine Fußgängererkennbarkeit aus der nachträglichen Sichtung dieser Bilder nicht abgeleitet werden kann.

Da der Aufbau einer Digitalkamera dem eines Leuchtdichtemessgeräts ähnelt, entwickelten Wüller [9] und Hoger [10] Verfahren, um die Digitalkamera bei einer LTU einsetzen zu können. Durch eine Kalibrierung der Digitalkamera kann die aufgenommene Bildhelligkeit bei gegebener Blende, Belichtungszeit und ISO-Wert einer Leuchtdichte zugeordnet werden. Die

wellenlängenabhängige Helligkeitsempfindlichkeit des Auges wird bei der Kalibrierung ebenfalls berücksichtigt. Die Auswertung der aufgenommenen Lichtbilder kann dann am PC erfolgen.

6 Versuchsaufbau

Zur Beurteilung der Fußgängererkennbarkeit bei unterschiedlichen Leuchtmitteln wurde ein einfacher Weg-Zeit-Zusammenhang zugrunde gelegt, bei dem sich ein Fußgänger unter 90° zur Fahrzeuglängsachse mit einer Geschwindigkeit von 5 km/h nähert, während sich der Pkw mit einer konstanten Geschwindigkeit von 50 km/h bewegt und den Fußgänger mit der Mitte der Fahrzeugfront erfasst. Es ergeben sich sekundlich die in der TABELLE 1 angegebenen Abstände zum Kollisionsort für die Unfallbeteilig-

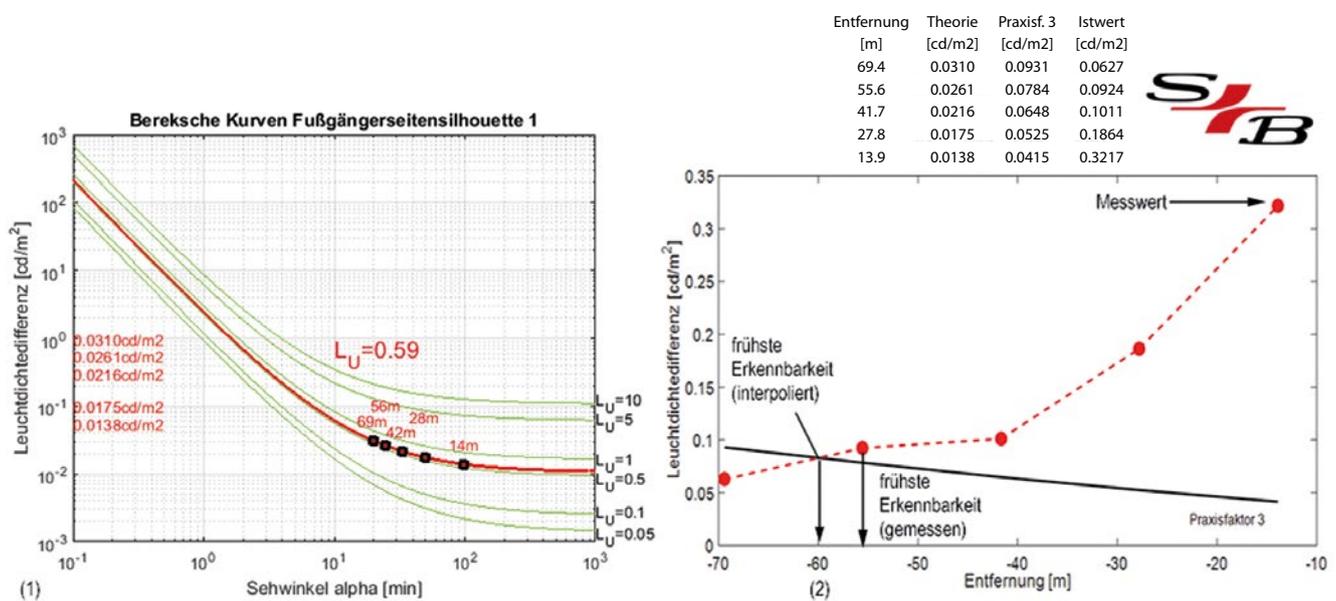


BILD 6: Berekische Kurven (1) und das SI-Diagramm (2) zur Auswertung der LTU
 FIGURE 6: Berek graphs (1) and an SI diagram (2) for evaluating the lighting test

TABELLE 1: Positionen von Pkw/Fußgänger für die LTU
 TABLE 1: Positions of the car/pedestrians for the lighting test

Zeit [s]	Entfernung zum Kollisionsort (s = 0 m) [m]	
	50 km/h (Pkw)	5 km/h (Fußgänger)
-1	13,9	1,4
-2	27,8	2,8
-3	41,7	4,2
-4	55,6	5,6
-5	69,4	6,9

ten. Es wurde sowohl eine Annäherung des Fußgängers von rechts als auch von links untersucht, um die Auswirkungen des asymmetrischen Pkw-Abblendlichts auf die Erkennbarkeit erfassen zu können.

Um die Positionen zwischen Fußgänger und Pkw mit verschiedenen Fahrzeugen möglichst genau reproduzieren zu können, wurde nicht, wie üblich, der Pkw bei der Messung, sondern der Fußgänger auf das Fahrzeug zubewegt. Die Messpositionen des Fußgängers sind

in **BILD 7** skizziert. Der Messaufbau ist anhand eines Fahrzeugs exemplarisch in **BILD 8** (oben) abgebildet. Um die Leuchtmittel mit H7-Fassung schneller wechseln zu können, wurde zuvor die Frontverkleidung des Audi mit Halogenscheinwerfern demontiert. Nach jedem Leuchtmittelwechsel fand eine Neueinstellung des Scheinwerfers statt, wie in Bild 8 (unten) dargestellt. Neben den Sichtfotos aus dem Pkw wurde bei jeder Messreihe die Beleuchtungsstärke auf dem Boden in 10 m Abständen in

Verlängerung der Fahrzeuglängsachse bis zu einer Entfernung von 100 m bestimmt und ein Hochfoto des Scheinwerferprofils gefertigt.

Für die Bekleidung des Fußgängers wurden gemäß **BILD 9** eine helle Bluse und eine blaue Jeans gewählt. Die reflektierenden Schuhe wurden bei der Versuchsauswertung nicht berücksichtigt. Sie dienen als Orientierung bei der Auswertung, um die Position des Fußgängers auch außerhalb des Lichtkegels auf den Lichtbildern bestimmen zu können.

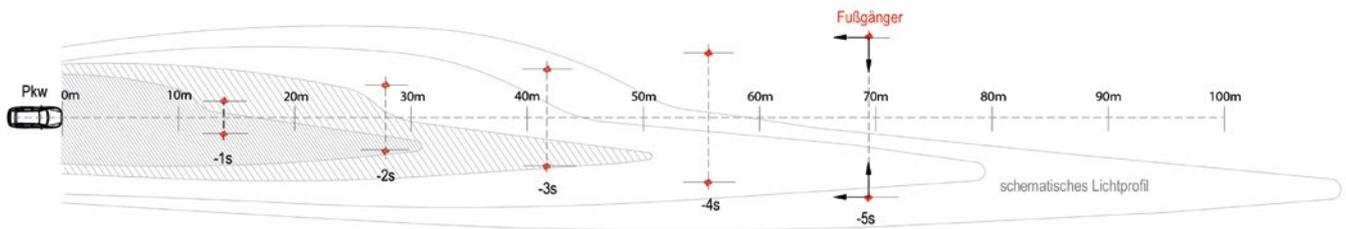


BILD 7: Versuchsaufbau – Fußgängerpositionen
FIGURE 7: Test set-up – pedestrian positions



BILD 8: Versuchsaufbau (1) und anschließendes Lichteinstellen (2)
FIGURE 8: Test set-up (1) and subsequent light adjustments (2)

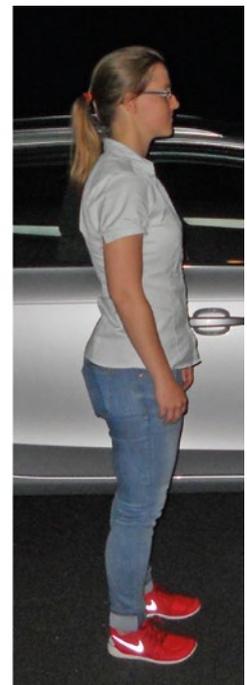


BILD 9: Fußgängerbekleidung
FIGURE 9: Pedestrian clothing

7 Versuchsdurchführung

Zur Versuchsdurchführung wurden die Testfahrzeuge nacheinander auf der zuvor gekennzeichneten Position abgestellt und das Scheinwerferlicht eingestellt, die Beleuchtungsstärke in 10-m-

Abständen zur Fahrzeugfront gemessen und ein Hochfoto des Lichtkegels aus einer Höhe von rund 5 m in Fahrtrichtung aufgenommen. In jeder Messreihe wurden Sichtfotos aus dem Pkw auf den Fußgänger für die zeitlichen Abstände zwischen 5 und 1 s vor der Kollision mit

einer kalibrierten Digitalkamera für je eine Fußgängerannäherung von rechts und links aufgenommen. BILD 10 zeigt Sichtaufnahmen aus dem Audi A4 bei Verwendung einer Standard Osram Glühbirne im Zeitraum zwischen 4 und 1 s vor der Kollision.

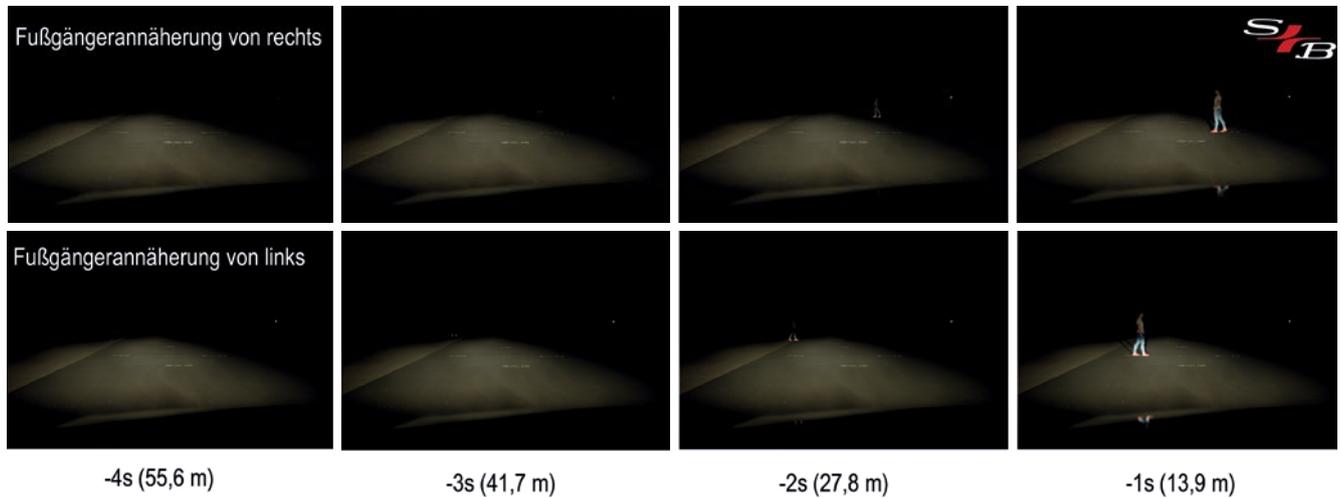


BILD 10: Sichtaufnahmen aus dem Audi mit Halogen-Standardbeleuchtung zwischen 4 und 1 s vor der Kollision
 FIGURE 10: Views from the Audi with standard halogen lighting from 4 seconds to 1 second before the collision

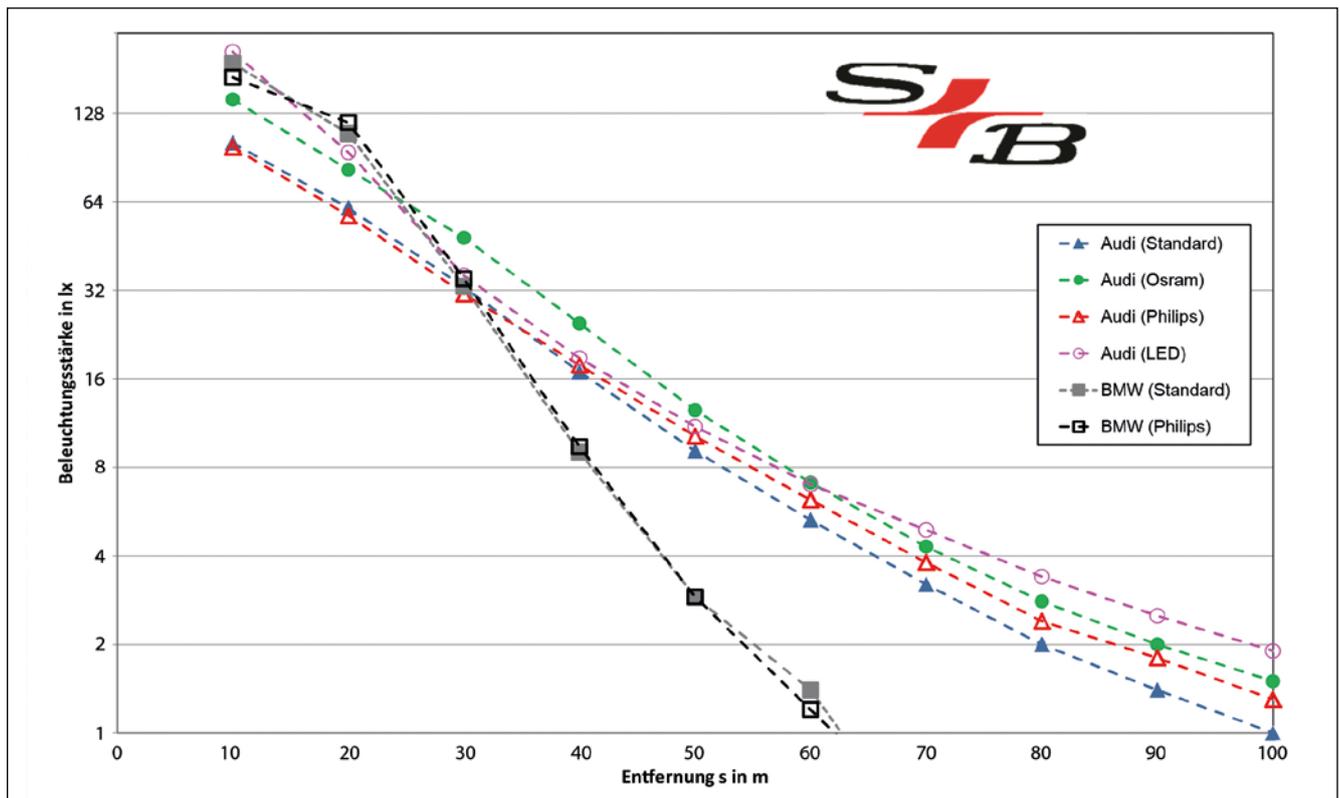


BILD 11: Verlauf der Beleuchtungsstärke mit unterschiedlichem Leuchtmittel in Halogenscheinwerfern
 FIGURE 11: Power of the halogen headlights using different bulbs

Bei dem Audi A4 mit Halogenscheinwerfern wurden vier Messreihen mit unterschiedlichen Leuchtmitteln aufgenommen. Für den Vergleichs-BMW wurden Messungen mit der Standardbeleuchtung und der bereits beschriebenen Glühbirne von Philips (3) durchgeführt.

8 Auswertung Halogenscheinwerfer

8.1 Verlauf der Beleuchtungsstärke

BILD 11 zeigt den Verlauf der Beleuchtungsstärke der Halogenscheinwerfer in Abhängigkeit des verwendeten Leuchtmittels. Die Beleuchtungsstärke wurde logarithmisch über die Entfernung zur Fahrzeugfront aufgetragen. Für den Halogenscheinwerfer des Audi ergibt sich bei allen verwendeten Leuchtmitteln nach dem logarithmischen Auftragen ein annähernd linearer Abfall der Beleuchtungsstärke. Über den gesamten Bereich bis 100 m weisen die Night Breaker von Osram (grüne ausgefüllte Kreise) eine erhöhte Beleuchtungsstärke gegenüber der Standardbeleuchtung des Audi, ebenfalls von Osram (blaue ausgefüllte Dreiecke) und der Glühlampe von Philips (rote offene Dreiecke) auf. Bei der Beleuchtungsstärke handelt es sich um den flächenbezogenen Lichtstrom, der auf ein beleuchtetes Objekt trifft. Das LED-Leuchtmittel mit H7-Fassung weist im Nahbereich bis 20 m und ab 60 m eine größere Beleuchtungsstärke auf als die Glühbirne Night Breaker von Osram. Die in etwa lineare Abnahme der Beleuchtungsstärke liegt im Fall des LED-Leuchtmittels nicht mehr vor. Im Bereich von 20-60 m kommt es zu einem Einbruch der Beleuchtungsstärke, was darauf hindeutet, dass die Baugometrie des Scheinwerfers nicht mit der LED-Lichtquelle kompatibel ist.

In grau ist der Beleuchtungsstärkeverlauf des BMW im Diagramm ergänzt. Entgegen der Verlaufcharakteristik beim Audi-Halogencheinwerfer weist der BMW (offene/gefüllte Quadrate) im Nahbereich bis zu einer Entfernung von etwa 25 m eine höhere Beleuchtungsstärke als der Audi auf, die danach stark abfällt, sodass in einer Entfernung von rund 60 m zum Pkw die Beleuchtungsstärke unter 2 lx ge-

sunken ist. Der abweichende Beleuchtungsstärkeverlauf wird durch eine andere Scheinwerferkonzeption erreicht.

8.2 Leuchtmittelabhängige Lichtprofile

Im Rahmen der lichttechnischen Untersuchung wurden Hochfotos der Leuchtdichteverteilung (im Weiteren „Profil“ genannt) in Fahrtrichtung aus einer Höhe von rund 5 m aufgenommen. **BILD 12** zeigt die Profile als logarithmisches Falschfarbenbild. Zur besseren Vergleichbarkeit, wurden die Fahrzeuglängsachse und Markierungslinien in 20 und 40 m Entfernung zur Fahrzeugfront in die Hochfotos eingetragen. Während das Profil des Audi-Halogencheinwerfers bei den unterschiedlichen Glühlampen (Standard (1), Osram (2) und Philips (3)) im Wesentlichen in der Leuchtdichte und nicht in der Form variiert, zeigt sich ein deutlicher Unterschied im Profil zwischen der Standardhalogenlampe (1) und der LED-Lampe (4) in der H7-Fassung.

Das Profil der Audi-Standardbeleuchtung mit (1) fällt in etwa symmetrisch aus. Im Vergleich hierzu zeigt das Profil der LED-Lampe in **BILD 12.4** eine stärkere Fahrbahnausleuchtung links. Diese Veränderung kann durch die deutlich abweichende Geometrie der LED im Vergleich zu einer Halogenlampe erklärt werden, weil das durch den Hersteller vorgegebene Lichtprofil verfälscht wird. Eine allgemeine Zulassung der LED-Lampen ist somit nicht ohne Weiteres möglich.

Das Standardprofil des BMW, **BILD 12.5**, zeigt im Gegensatz zum Audi eine „klassische“ asymmetrische Lichtverteilung, bei der die Fahrbahn rechts weiter ausgeleuchtet wird als links. Zusätzlich wird die Fahrbahn im Nahbereich breit ausgeleuchtet, was sich auch mit den zuvor gemessenen, auf der Fahrzeuglängsachse schnell abfallenden Beleuchtungsstärken beim BMW deckt. Aufgrund des eher symmetrischen und schmalen Lichtprofils des Audi liegt auch noch in größeren Entfernungen zum Pkw auf der Fahrzeuglängsachse eine messbare Beleuchtungsstärke vor.

8.3 Fußgängererkennbarkeit

Die Lichtbilder zur Fußgängerannäherung wurden am PC ausgewertet, wie dies exemplarisch das **BILD 13** für die Messreihe des Audi-Halogencheinwerfers mit Standardbeleuchtung zeigt. Ausgewertet wurde der Bereich des Oberkörpers (1 O) und der Beine (2 O) sowie die Hintergründe (1 H/2 H) unter Berücksichtigung der Umgebungsleuchtdichte LU.

Die Auswertung der Fußgängererkennbarkeitsentfernung erfolgte gemäß Abschnitt 5 für die einzelnen Leuchtmittel jeweils für eine Annäherung des Fußgängers von rechts und links. Die Ergebnisse sind in **TABELLE 2** zusammengefasst.

In **BILD 14** sind die Erkennbarkeitsentfernungen in Diagrammform dargestellt. Es wurde eine Unterscheidung zwischen der Erkennbarkeitsgrenze für den Oberkörper (offene Balken) und die Beine (gefüllte Balken) des Fußgängers getroffen. In grün ist die Erkennbarkeitsentfernung für einen von links kommenden Fußgänger gezeigt, in blau für eine Annäherung von rechts. Die Messergebnisse für das LED-Leuchtmittel in der H7-Fassung (eingeklammelter Bereich) werden zunächst von der Diskussion ausgenommen, da dieses Leuchtmittel keine Zulassung aufweist.

Eine Fußgängererkennbarkeit liegt dann vor, wenn entweder der Oberkörper oder die Beine erkannt werden können. Mit dem Audi-Halogencheinwerfer zeigt sich eine mittlere Erkennbarkeitsgrenze eines von links kommenden Fußgängers von 43 m. Ein von rechts kommender Fußgänger kann in einer Entfernung von etwa 45 m erkannt werden. Dies weist auf ein annähernd symmetrisches Lichtprofil des Halogencheinwerfers hin, wie es auch die logarithmischen Falschfarbenbilder der Scheinwerferprofile des Audi in Bild 12 zeigen.

Die mittlere Erkennbarkeitsentfernung der Beine des Fußgängers für die verschiedenen Leuchtmittel bei einer Annäherung von links beziehungsweise rechts liegt bei etwa $43 \pm 3 \text{ m}$. Der Halogencheinwerfer weist damit ein etwa symmetrisches Profil für nach

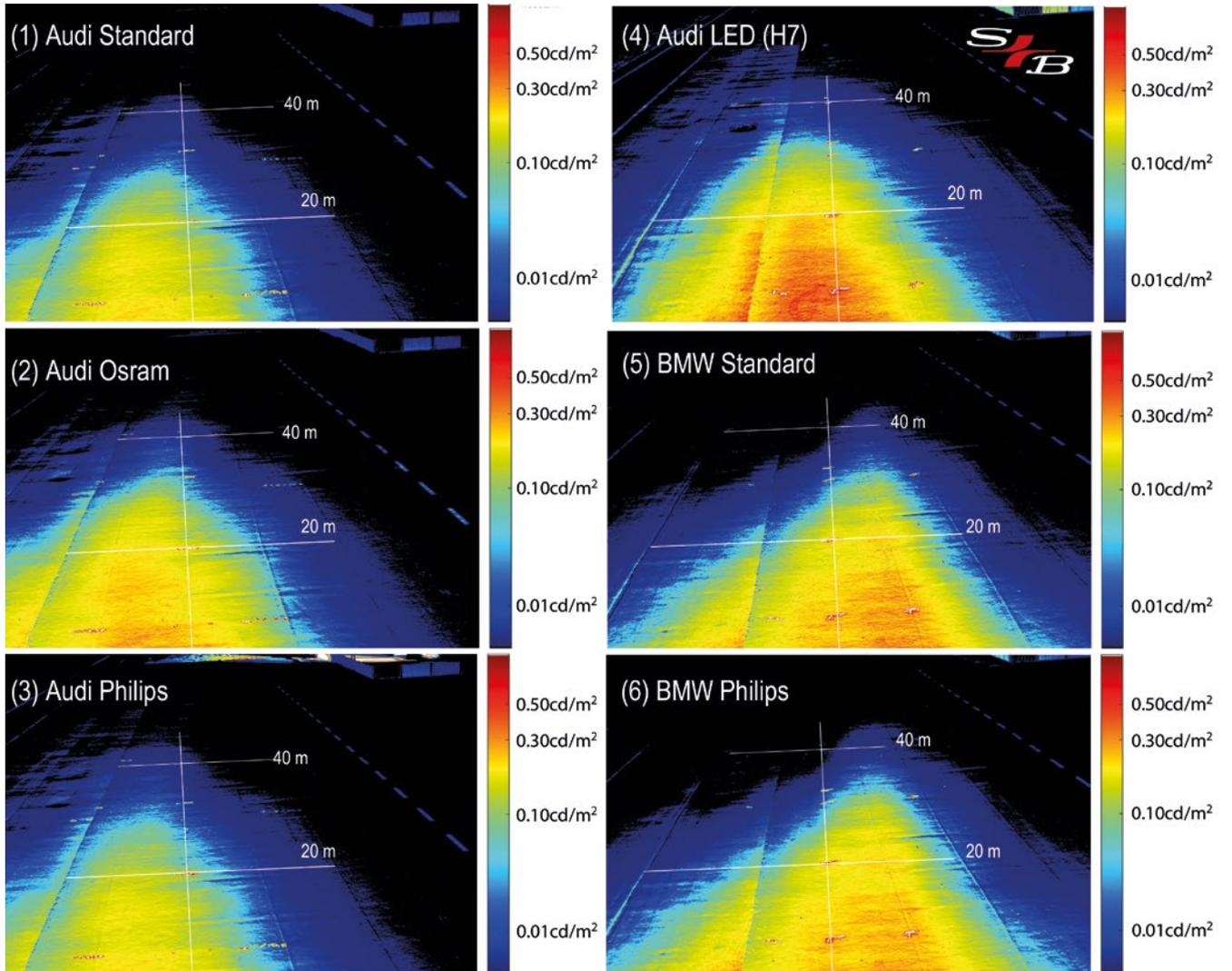


BILD 12: log. Falschfarbenbilder der Halogenscheinwerferprofile
 FIGURE 12: False colour images of the halogen headlight profiles



BILD 13:
 Auswertung der
 Sichtfotos (Audi
 Standard) am PC
 FIGURE 13:
 Evaluation of
 the photo (Audi
 standard system)
 on the PC

unten ausgestrahltes Licht auf. Der Oberkörper kann bei Annäherung von rechts in einer Entfernung von etwa 43 ± 3 m erkannt werden, bei linksseitiger Annäherung erst ab 39 ± 6 m. Es zeigt sich somit eine leichte Tendenz zur asymmetrischen Streulichtverteilung, da die Oberkörpererkennbarkeit hauptsächlich von dem ausgesendeten Streulicht abhängig ist. Das abgestrahlte Streulicht ist auf der linken Seite geringer, wodurch der Oberkörper eines von links kommenden Fußgängers erst später erkannt wird, die Blendung für den Gegenverkehr jedoch reduziert werden kann.

Vergleicht man die Fußgängererkennbarkeit für die Glühlampen „Standard“ und „Osram“, so ergeben sich im Mit-

tel Entfernungen von 38 beziehungsweise 37 m für einen von links kommenden und 44 beziehungsweise 42 m für einen von rechts kommenden Fußgänger.

Innerhalb der Fehlertoleranz von wenigen Metern sind die Standardglühlampe und die Night Breaker, die beide von Osram produziert werden, gleich. Durch die Glühlampe des Herstellers Philips ist ein von links kommender Fußgänger bereits aus einer Entfernung von etwa 48 m (sowohl im Oberkörper- als auch im Beinbereich), also rund 10 m früher im Vergleich zu den Glühlampen von Osram, erkennbar. Der Streulichtanteil im linken Scheinwerferprofil ist demnach gegenüber den Leuchtmitteln von Osram erhöht.

Es besteht dadurch gegebenenfalls die Möglichkeit der Blendung.

Für die LED mit H7-Fassung wurden Erkennbarkeitsentfernungen von 68 (links) und 64 m (rechts) bestimmt. Die mögliche Erkennbarkeitsentfernung eines von links kommenden Fußgängers im Bereich des Oberkörpers mit zugelassenen Leuchtmitteln beträgt im Mittel nur 39 m, sodass bei der LED mit H7-Fassung von einer erhöhten Blendung auszugehen ist.

Tatsächlich blenden die LED subjektiv stark. Laut der Bußgeldtabelle zu § 50 StVZO wird für den Tatbestand des Verstoßes gegen eine Vorschrift über Scheinwerfer für Fern- und Abblendlicht eine Geldbuße von lediglich 15 Euro erhoben [11], die Gefährdung

TABELLE 2: Erkennbarkeitsentfernungen in Abhängigkeit vom Fahrzeugmodell und Leuchtmittel

TABLE 2: Detection distances depending on the vehicle model and the bulbs

	Erkennbarkeitsentfernung [m]											
	Audi H7 (Standard)		Audi H7 (Osram)		Audi H7 (Philips)		Audi H7 (LED)		BMW (Standard)		BMW (Philips)	
	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts	links	rechts
Oberkörper	34	44	36	40	47	46	68	64	30	60	38	58
Beine	42	43	38	44	48	41	59	53	28	53	33	56

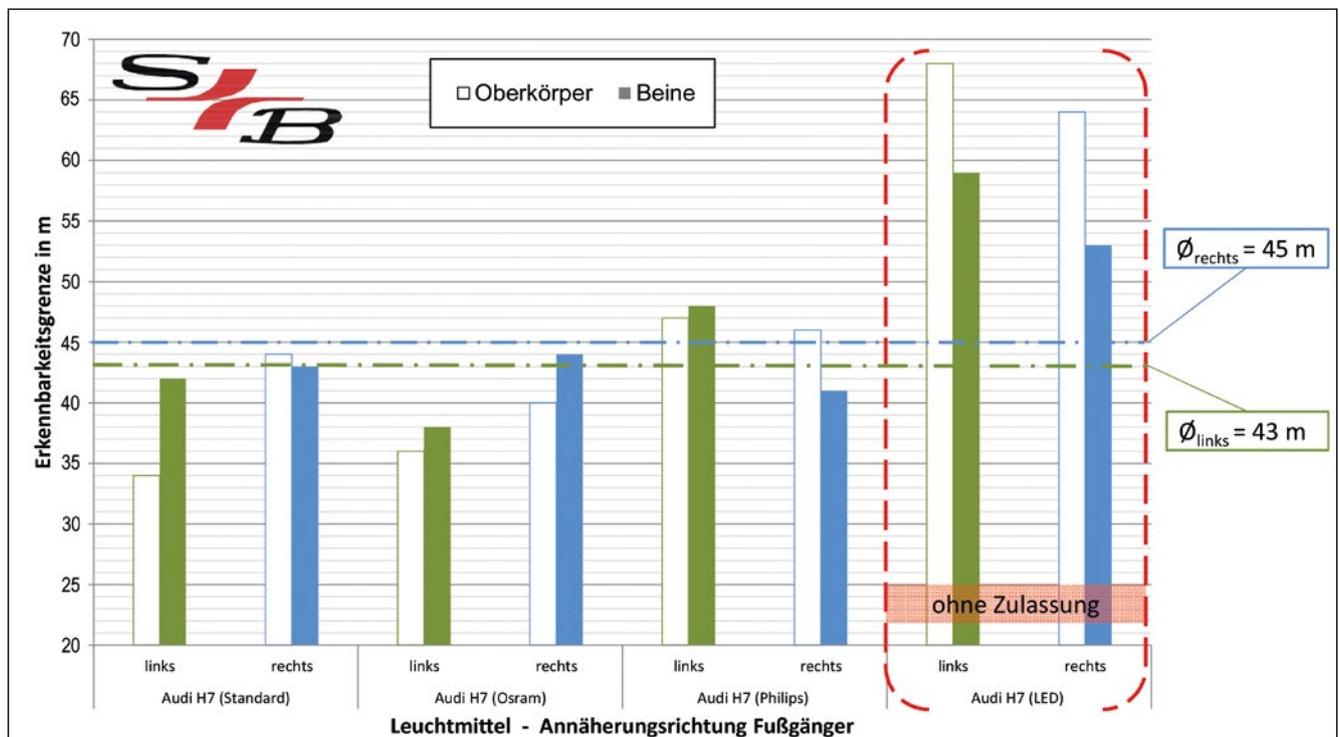


BILD 14: Fußgängererkennbarkeit in Abhängigkeit vom Leuchtmittel (Audi)

FIGURE 14: Pedestrian detection depending on the bulbs (Audi)

des Gegenverkehrs ist jedoch groß, weshalb von der Verwendung solcher Leuchtmittel unbedingt abgeraten werden muss!

Die ermittelten Erkennbarkeitsentfernungen des Fußgängers unter Verwendung des BMW-Vergleichsfahrzeugs zeigt ebenfalls **BILD 15**. Zusätzlich wurden die Erkennbarkeitsentfernungen den vorherigen Messwerten des Audi-Halogencheinwerfers gegenübergestellt.

Für den BMW ergibt sich eine völlig andere Verteilung. Die mittlere Erkennbarkeit eines von links kommenden Fußgängers beträgt 34 m. Ein von rechts kommender Fußgänger kann bereits in einer Entfernung von 59 m erkannt werden. Der BMW weist im Gegensatz zum Audi somit ein deutlich asymmetrisches Lichtprofil auf, da der Fußgänger links erst etwa 25 m später erkannt werden kann als rechts. Die asymmetrische Profilform wird durch die Hochfotos in Bild 12 bestätigt. Die Oberkörpererkennbarkeitsentfernungen von 34 ± 4 m (links) beziehungsweise 59 ± 1 m (rechts) beim BMW sind gegenüber der Erkennbarkeiten

der Beine 31 ± 3 m (links) beziehungsweise 55 ± 2 m (rechts) um 3–4 m erhöht. Der Streulichtanteil im rechten Scheinwerferprofil ist gegenüber dem des Audi ähnlich erhöht, wie dies der Sichteindruck aus 55,6 m Entfernung mit der Audi- (1) und BMW-Standardbeleuchtung (2) in **BILD 16** zeigt. Der Bildausschnitt, in dem der Fußgänger zu erkennen ist, wurde im Nachfolgenden zur Verdeutlichung vergrößert.

Mit dem BMW ist ein von rechts kommender Fußgänger bereits aus einer Entfernung von knapp 60 m aufgrund des asymmetrischen Lichtprofils und des Streulichtanteils erkennbar, im Audi durch das symmetrische Lichtprofil erst ab einer Entfernung von etwa 44 m. Bei einer Annäherungsgeschwindigkeit des Pkw von 50 km/h entspricht dieser Unterschied einer möglichen früheren Reaktion von rund 1 s.

BILD 17 zeigt die Sicht aus einer Entfernung von 41,7 m auf einen von links kommenden Fußgänger. Aus dem Audi (1) ist der von links kommende Fußgänger bereits in einer Entfernung von 42 m erkennbar, mit dem BMW liegt eine Erkennbarkeit erstmalig bei 30 m

vor. Bei beiden Scheinwerferprofilen ist ein von links kommender Fußgänger später erkennbar, um die Blendung des Gegenverkehrs so gering wie möglich zu halten.

Obwohl die Beleuchtungsstärke auf den Fußgänger in einer Entfernung von rund 55 m sehr klein ist, der Fußgänger sich also kaum noch im Lichtkegel der Scheinwerfer befindet, vergleiche zum Beispiel **BILD 17.2** (BMW), kann dieser trotzdem erkannt werden. Die Erkennbarkeit wird somit maßgeblich – insbesondere bei heller Oberbekleidung wie bei der vorliegenden Untersuchung – durch das erzeugte Streulicht beeinflusst. Die erstmalige Erkennbarkeit eines Objekts durch zusätzliches Streulicht wird als „Streulichteffekt“ bezeichnet.

8.3.1 Aus Leuchtdichteverteilung auf Erkennbarkeitsentfernung schließen?

Die Beleuchtungsstärkenmessung und die Aufnahme des Profils spiegeln sich in der Auswertung der Fußgängererkennbarkeit wieder. Das asymmetrische Profil des BMW-Scheinwerfers und das größtenteils symmetrische

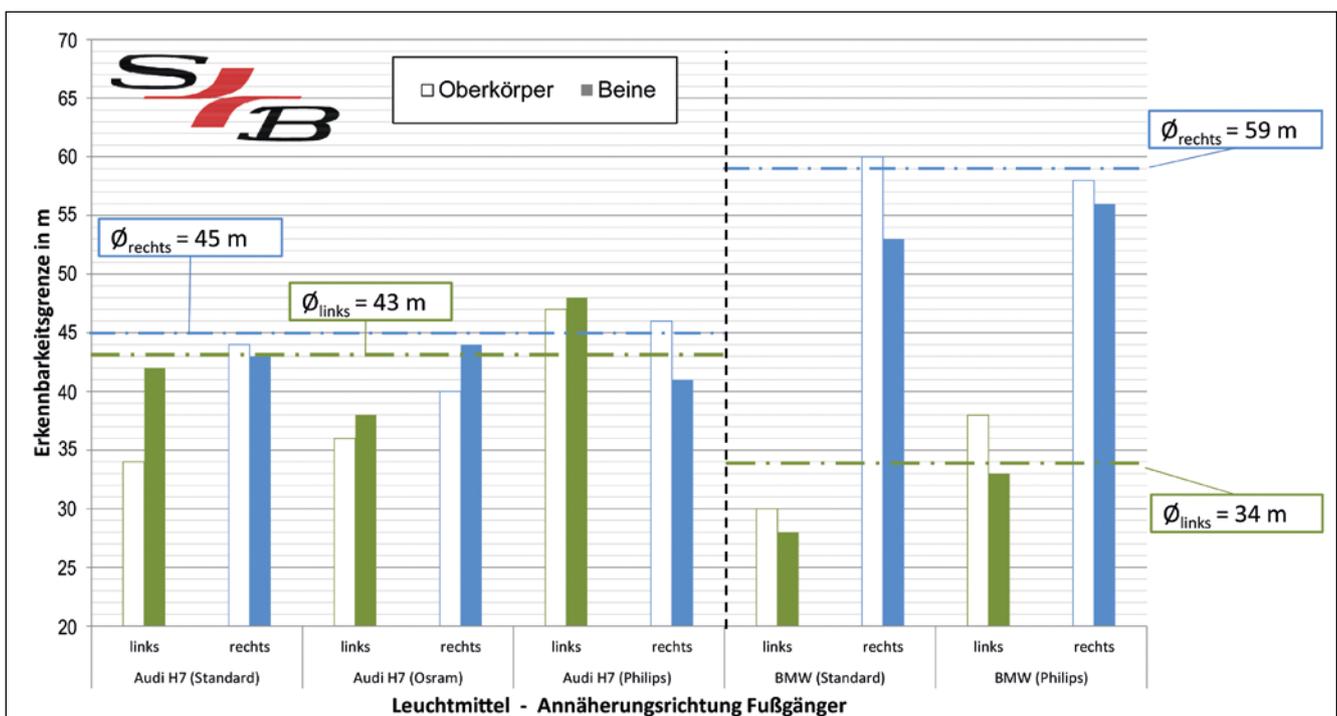


BILD 15: Fußgängererkennbarkeit in Abhängigkeit vom Fahrzeugmodell und Leuchtmittel

FIGURE 15: Pedestrian detection depending on the vehicle model and the bulbs

Profil des Audi-Scheinwerfers sind schematisch in **BILD 18** ergänzt.

Der Audi verfügt über ein eher schmales, längliches Profil im Gegensatz zum seitlich ausgedehnten, in der Entfernung begrenzten Profil des BMW. Die Skizze rechts in Bild 18 zeigt neben den Fahrzeugen und ihren schematischen Profilen verschiedene Fußgängerpositionen (rot), anhand derer der Zusammenhang zwischen Öffnungswinkel des Lichtkegels und Fußgängererkennbarkeit diskutiert wird.

Die beleuchtete Fläche in beiden Profilen ist in etwa gleich (schraffierter Bereich), da die Lichtstärke durch die Halogenlampe begrenzt ist. Das Profil mit größerem Öffnungswinkel (beispielsweise BMW) muss somit in der

Entfernung begrenzt sein. Ein Profil mit großer „Reichweite“ muss automatisch einen kleinen Öffnungswinkel aufweisen.

Welches Profil von Vorteil ist, kann nicht pauschal beantwortet werden. Das „optimale“ Profil hängt nicht nur von der Pkw-Geschwindigkeit, der Gehgeschwindigkeit des Fußgängers und der Kollisionsstellung ab, auch die Kleidung des Fußgängers hat Auswirkungen.

Bei geringen Pkw-Geschwindigkeiten kann ein schnell von der Seite sich nähernder Fußgänger (Position 1 oder 2) in einem schmalen Profil mit kleinem Öffnungswinkel erst spät erkannt werden. Durch einen größeren Öffnungswinkel des Lichtkegels (breites

Profil) wäre dieser Fußgänger früher erkennbar.

Bei hohen Annäherungsgeschwindigkeiten des Pkw wird ein schmales, weitreichendes Lichtprofil benötigt, da die gleiche Fußgängergeschwindigkeit jetzt relativ zur Pkw-Geschwindigkeit kleiner wird (Positionen 3 und 4). Wird das Lichtprofil ausschließlich auf ein „Fahren auf Sicht“ optimiert, wäre ein Lichtprofil nur auf der vorausliegenden Spur des Pkw erforderlich, da nur statische Hindernisse erkannt werden müssen.

Diese widersprüchlichen Anforderungen können nur durch adaptive Lichtsysteme erreicht werden, die das Lichtprofil in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Umge-



BILD 16: Sichteindruck aus 55,6 m Entfernung mit Audi- (1) und BMW-Standardbeleuchtung (2)

FIGURE 16: View from a distance of 55.6 m with Audi (1) and BMW standard lights (2)

Unfallforschung Schadensanalyse Fahrzeugtechnik

Fundiertes Wissen
von Experten für Experten

Für Abonnenten
kostenloser
Download von
2D DXF-Daten

Ihre Vorteile:

- 11 Ausgaben
- Exklusive Prämie Ihrer Wahl
- Digitales Heftarchiv seit 1/2006
- Technische Datenblätter

www.VKUonline.de/abo

VKU

ist eine Marke von:
Springer Automotive Media

bung steuern. Hierzu werden Leuchtmittel hoher Lichtstärke benötigt, die eine schnelle Profiländerung ermöglichen, was auf Xenon- und LED-Scheinwerfer führt, die im zweiten Teil dieses Artikels untersucht werden.

8.3.2 Größere Lichtstärke = größere Erkennbarkeitsentfernung im Abblendlicht?

Der Vergleich der zugelassenen Glühlampen (Standard, Osram, Philips) zeigt, dass eine Lampe mit größerer

Lichtstärke nicht automatisch zu einer besseren Fußgängererkennbarkeit führt. Mit der Osram Night Breaker wird trotz höherer Beleuchtungsstärke in geringen Entfernungen zum Pkw eine gleiche oder sogar schlechtere



BILD 17: Sichteindruck aus 41,7 m Entfernung mit Audi- (1) und BMW-Standardbeleuchtung (2))

FIGURE 17: View from a distance of 41.7 m with Audi (1) and BMW standard lights (2)

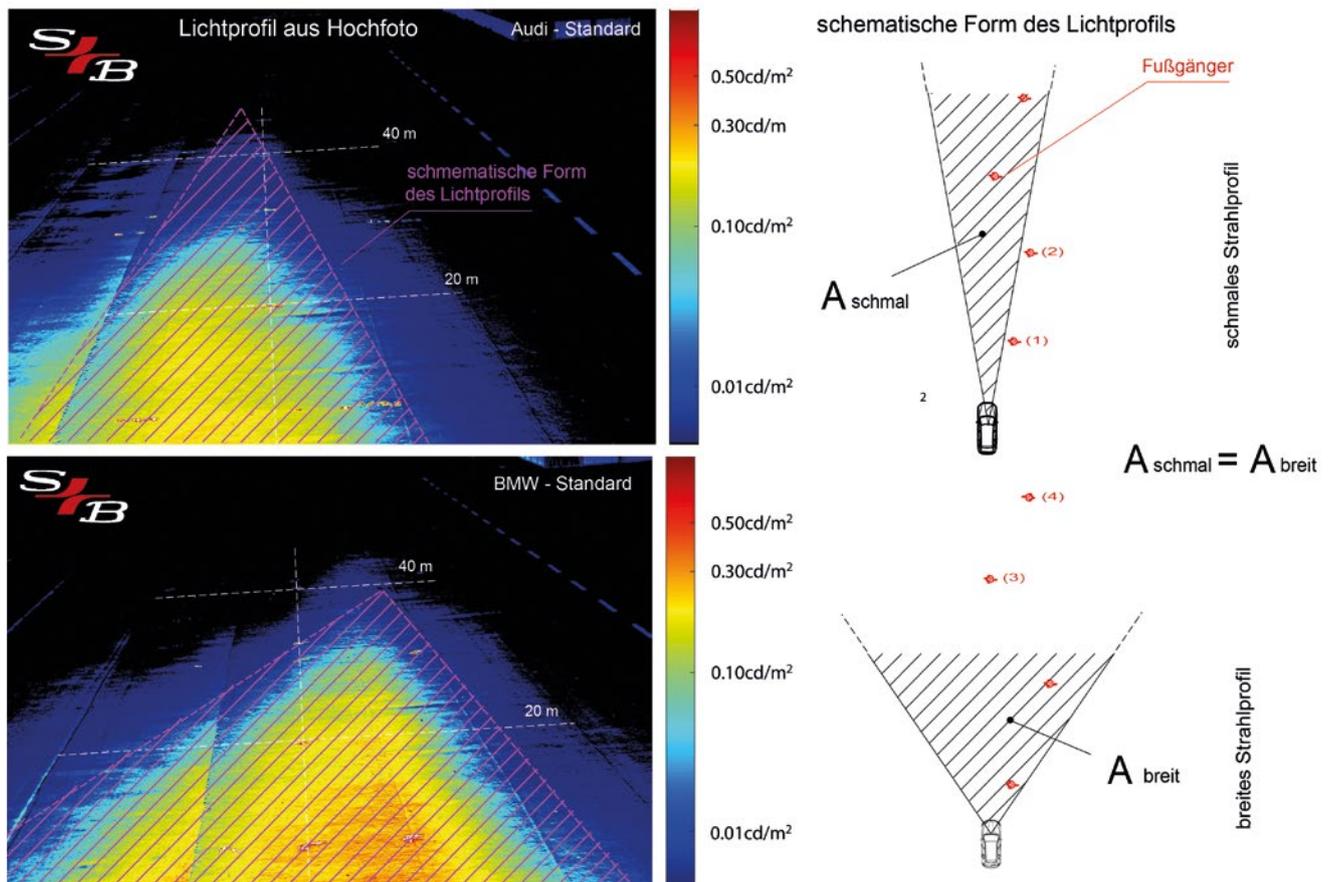


BILD 18: Zusammenhang zwischen schematischer Lichtprofilform und der Fußgängererkennbarkeit

FIGURE 18: Relationship between the diagram of the light profile and the pedestrian detection capability

Erkennbarkeitsgrenze für den Fußgänger erreicht, vergleiche Auswertung nach Bild 14. Durch den sehr hell ausgeleuchteten Nahbereich ist das Adaptionsvermögen des Auges auf den deutlich dunkleren Hintergrund, in dessen Bereich sich der Fußgänger befindet, erschwert.

Das LED-Licht mit H7-Fassung ermöglicht es, einen Fußgänger in einer Entfernung von rund 65 m sowohl von rechts als auch von links zu erkennen, siehe **BILD 19**. Es liegt eine starke Blendung des Gegenverkehrs vor, was auch subjektiv bestätigt werden kann. Das Abblendlicht wird somit durch die Wahl des nicht zulässigen Leuchtmittels zum Fernlicht. Eine unerwartete Besonderheit weist die Glühlampe von Philips auf, die sowohl beim BMW als auch beim Audi die Fußgängererkennbarkeit eines von links kommenden Fußgängers signifikant verbessert. Beim BMW wird die Erkennbarkeit des von links kommenden Fußgängers gegenüber der Standardbeleuchtung von 30 auf 38 m erhöht, beim Audi von 42 auf 48 m, siehe Gegenüberstellung der Standard- mit der Philips-Glühlampe im Audi-Scheinwerfer in **BILD 20**.

Durch den Leuchtmittelaustausch beim BMW wird (im Gegensatz zur Verwendung des Standardleuchtmittels) ein etwas weniger asymmetrisches Scheinwerferprofil beobachtet. Worauf dieser Effekt beruht und ob dieser Effekt mit einer erhöhten Blendung ein-

hergeht, muss noch untersucht werden. Insgesamt führt somit eine größere Lichtstärke nicht automatisch zu einer besseren Erkennbarkeit von Fußgängern. Die Variation der Leuchtmittel führte auf eine maximale Veränderung der Erkennbarkeitsentfernung von 8 m.

Die zwei untersuchten Scheinwerfertypen zeigten bereits Differenzen in der Fußgängererkennbarkeit von 20 m. Bei einer lichttechnischen Untersuchung muss somit der Scheinwerfertyp identisch gewählt werden, wenn möglich sollte auch das Leuchtmittel Beachtung finden. Der zentrale Punkt in der Bestimmung der Erkennbarkeitsentfernung bleibt jedoch die Berücksichtigung der Annäherungsgeschwindigkeiten und der örtlichen Gegebenheiten. Wird beispielsweise in der obigen Betrachtung ein stehender Fußgänger anstatt eines mit 5 km/h von links kommenden Fußgängers berücksichtigt, so kann sich die Erkennbarkeitsentfernung verdoppeln. Wird zusätzlich ein inhomogener Hintergrund betrachtet, können sich die Erkennbarkeitsentfernungen erheblich verändern.

9 Ausblick auf Teil 2

Der Streulichteffekt beschreibt einen Mechanismus bei der Erkennbarkeit von Objekten außerhalb des direkten Erfassungsbereichs von Halogenscheinwerfern. Xenon- und LED-Licht können die Fahrbahn aufgrund ihrer

größeren Lichtstärke großflächiger beziehungsweise weiter ausleuchten. In **BILD 21** wurde die Sicht auf einen von rechts kommenden Fußgänger in rund 30 m Entfernung mit Halogen-, Xenon- und LED-Beleuchtung einander gegenübergestellt.

Im vorliegenden ersten Teil wurde erläutert, dass eine größere Lichtstärke nicht automatisch mit einer größeren Erkennbarkeitsentfernung für Fußgänger gleichzusetzen ist. Ob Xenon- oder LED-System bei der Fußgängererkennbarkeit einem Halogenscheinwerfer überlegen sind, wird im zweiten Teil dieses Beitrags untersucht.

10 Zusammenfassung – Teil 1

In diesem Beitrag wurde die Fußgängererkennbarkeit in Abhängigkeit vom verwendeten Leuchtmittel in einem Audi-Halogencheinwerfer untersucht und mit einem BMW-Halogencheinwerfer verglichen. Für die Durchführung der lichttechnischen Untersuchung wurde eine kalibrierte Spiegelreflexkamera verwendet.

Das Lichtprofil des Audi ist annähernd symmetrisch und länglich, während der BMW über ein klassisches asymmetrisches Scheinwerferprofil verfügt. Der Öffnungswinkel des Lichtkegels des BMW ist deutlich größer als beim Audi, die „Reichweite“ daher geringer. Von rechts kommende Fußgänger können im Audi-Scheinwerfer mit



BILD 19: Sichteindruck aus 69,7 m Entfernung mit Audi LED (H7) mit Fußgängerannäherung von links (1) und rechts (2)

FIGURE 19: View from a distance of 69.7 m with Audi LED headlights (H7) and a pedestrian approaching from the left (1) and from the right (2)



-2s (27,8 m) - Audi Standard

-2s (27,8 m) - Audi Philips

BILD 20: Sichteindruck aus 27,8 m – Erkennbarkeit mit Audi Standardbeleuchtung (1/3) und H7-Philips (2/4)
FIGURE 20: View from a distance of 27.8 m – Pedestrian detection with Audi standard lighting (1/3) and Philips H7 (2/4)

BILD 21: Sicht auf Fußgänger aus rund 30 m Entfernung mit einer Audi-Halogen- (1), Xenon- (2) und LED-Beleuchtung (3)
FIGURE 21: View of a pedestrian from a distance of around 30 m with Audi halogen (1), xenon (2) and LED lighting (3)



(1) Halogen

(2) Xenon

(3) LED

Standardleuchtmittel in 44 m erkannt werden, im BMW-Scheinwerfer bereits in einer Entfernung von 60 m. Welches Lichtprofil vorteilhaft ist, ist unter anderem von den Geschwindigkeiten, der Kleidung des Fußgängers und dem Kontaktpunkt am Pkw abhängig und kann nicht verallgemeinert werden. Generell sollte das Lichtprofil der Geschwindigkeit angepasst werden, was zu adaptiven Lichtsystemen führt.

Aus lichttechnischen Untersuchungen geht hervor, dass die Erkennbarkeit von Objekten außerhalb des Nahfeldes beim Halogenscheinwerfer durch „Streulicht“ erreicht wird, nicht durch direkte Beleuchtung, wodurch ein am Oberkörper hell gekleideter Fußgänger frühzeitig erkannt werden kann. Dies wird als „Streulichteffekt“ bezeichnet.

Beim Leuchtmittelvergleich stellte sich heraus, dass die LED-Leuchte ohne Straßenzulassung nicht den Anforderungen der Scheinwerferkonstruktion entspricht. Das Scheinwerferprofil wird verfälscht und der Gegenverkehr geblendet.

Bei der Glühlampe von Osram mit der größten Beleuchtungsstärke im Nahbereich zeigte sich eine gleich gute oder sogar schlechtere Fußgängererkennbarkeit im Vergleich zur Standardglühlampe. Dies könnte aufgrund der Überbeleuchtung des Nahbereichs und dem daraus resultierenden Adaptionsproblem des Auges resultieren. Die größte Erkennbarkeitsentfernung wurde mit einer Glühlampe von Philips festgestellt. Allerdings wird unabhän-

gig vom Fahrzeug der linke Bereich des Lichtkegels erweitert. Es ist zu prüfen, ob der Zuwachs an Erkennbarkeitsentfernung durch eine größere Blendung erkaufte wird.

Durch die Veränderung des Leuchtmittels im Halogenscheinwerfer ist es möglich, eine zusätzliche Erkennbarkeitsentfernung eines Fußgängers von maximal 8 m zu erreichen. Die untersuchten unterschiedlichen Scheinwerfertypen (Audi und BMW) zeigten Abweichungen von maximal 20 m in der Erkennbarkeitsentfernung.

Bei einer lichttechnischen Untersuchung muss somit der Scheinwerfertyp identisch gewählt werden, wenn möglich sollte auch das Leuchtmittel Beachtung finden. Der zentrale Punkt in der Bestimmung der Erkennbarkeitsentfernung bleibt jedoch die Berücksichtigung der Annäherungsgeschwindigkeiten, der Kleidung des Fußgängers und der örtlichen Gegebenheiten.

Literaturhinweise

- [1] ADAC, LED-Lichtanlagen von sechs SUVs im Test, www.adac.de (2016).
- [2] Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Getötete bei Verkehrsunfällen, www.dvr.de (2016).
- [3] Deutscher Verkehrssicherheitsrat, Das Unfallgeschehen bei Nacht, www.dvr.de (2016).
- [4] ADAC, Finger weg: Diese Glühlampen brennen zu früh aus, www.focus.de (2013).
- [5] Licht für die Sicht – Scheinwerfertechnik und Glühlampenwechsel, Fahrzeug + Karosserie 8|2016.

- [6] M. Berek, Zum physiologischen Grundgesetz der Wahrnehmung von Lichtreizen, *Instrumentenkunde* 63, 297 (1943).
- [7] W. Adrian, Die Unterschiedsempfindlichkeit des menschlichen Auges und die Möglichkeit ihrer Berechnung, *Lichttechnik* 21, 2 (1943).
- [8] K. Schmedding, M. Becke, Das SBU-Diagramm und die Bestimmung von Erkennbarkeitsentfernungen mit Hilfe des SI-Diagramms, *VKU* 28 (1990).
- [9] D. Wüller, Digitale Standard-Spiegelreflexkameras als Leuchtdichtemessgerät im mesopischen Bereich, 18. EVU Conference, Hinckley.
- [10] T. Hoger, Lichttechnische Untersuchungen mit einer Standard-Digitalkamera, *VKU* 54 (02/2016).
- [11] Bußgeldtabelle zu § 50 StVZO.

Pedestrian detection with halogen, xenon and LED headlights: 'the light scatter effect' (part 1)

Introductory paragraph: Drivers' ability to detect pedestrians is related not only to the power and range of the vehicle's headlights, but also to their light scatter. Can pedestrians be detected more quickly with more expensive xenon and LED headlights than they can with low-cost xenon headlamps? Is it possible to bring about a significant improvement by changing the bulbs in halogen headlights?

Light tests were carried out using an Audi A4 with halogen, xenon and LED lights and with a variety of bulbs in the halogen headlights. The first part of the study concerns the effect of the different halogen bulbs in the Audi A4. The results are discussed and compared with the outcome of a test involving a Series 1 BMW. The next article in the series will look at whether pedestrians are easier to detect with xenon or LED systems rather than halogen headlights.

*** Autoren**

*Dipl.-Phys. Annika Kortmann ist Sachverständige für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro S+B in Münster.
Dipl.-Phys. Dr. rer. nat. Tim Hoger ist ö. b. u. v. Sachverständiger für Straßenverkehrsunfälle im Ingenieurbüro S+B in Münster.* ::